

# 해양콘크리트 구조물의 보수를 위한 전기방식의 응용에 대한 고찰

## A Study on the Application of Cathodic Protection for the Repair of Marine Concrete Structure

문한영\*                      김성수\*\*                      김홍삼\*\*\*  
Moon, Han Young      Kim, Seong Soo      Kim, Hong Sam

---

### Abstract

Recently many concrete structures have been deteriorated due to the corrosion of reinforcing steel caused by chloride attack. The chloride attack causes very rapid and serious deterioration. Therefore, It is necessary for highly reliable method to stop the corrosion. Especially, on damaged concrete, it is difficult to stop the progress of steel corrosion that has already occurred in concrete. The indirect method of corrosion protection such as eliminating corrosion factors by coating would be hard to be expected for complete stop of corrosion.

In this paper, we applied the cathodic protection to chloride attacked marine concrete structures and verified the effect in addition to application of cathodic protection

---

### 1. 서 론

해양콘크리트 구조물의 대부분은 염해를 받는 위치에 건설되기 때문에 오랜 세월동안 구조물의 성능을 유지하기 위해서는 내구성이 우수한 재료로 인정받고 있는 철근 콘크리트가 많이 사용되어 왔다. 그러나 근년에 와서 콘크리트 속의 철근이 염화물 등의 영향을 받아 부식되므로써 염해에 의한 철근콘크리트 구조물의 열화현상이 사회적인 문제로 되고 있다.

해양환경하에 축조되는 콘크리트 구조물중의 하나인 잔교는 철근콘크리트 구조물로서는 소규모인

---

\* 정희원, 한양대학교 토목공학과 교수

\*\* 정희원, 대진대학교 토목공학과 전임강사

\*\*\* 정희원, 한양대학교 대학원 토목공학과

경우라도 콘크리트의 표면적이 수천 평방미터에 달할 뿐만 아니라 해수에 직접 노출되는 구조물이기 때문에 염해의 피해를 쉽게 받게 된다. 그래서 콘크리트 구조물이 염해에 의해 열화가 된 단계에서 그 열화원인을 조사하여 적절한 보수대책을 강구하는 것이 필요하나, 지금까지는 염해에 의해 열화된 콘크리트 구조물의 보수대책으로 수지계 도료나 폴리머 시멘트모르터 등에 의한 콘크리트 표면의 피복이나 단면의 복구가 주로 실시되어온 실정이다. 그러나, 이들 보수방법은 완벽하지 못할 뿐만 아니라 염화물의 농도차 등에 의한 철근의 재부식 가능성이 높다고 한다. 따라서 염해에 의한 콘크리트 구조물의 열화에 대해 근본적인 대책으로써 전기방식법에 대한 연구가 외국에서는 비교적 일찍 시작되어 많은 보수, 보강 사례가 발표되고 있으며, 우리나라에서도 최근 해수 등에 의해 열화된 철근콘크리트 구조물의 보수에 적용되고 있으나, 전기방식법에 따른 유효성의 검증이 요구되고 있다.

본 연구에서는 철근콘크리트 잔교의 열화상황을 조사하고, 염해에 의해 열화된 철근콘크리트 구조물의 보수공법으로써 고순도 티타늄을 망상(網狀)으로 가공한 양극재를 사용한 외부전원법의 전기방식을 적용하여 보수한 철근콘크리트 구조물의 통전시험과 복극량시험에 의한 방식효과와 그 실용성을 평가 검토하였다.

## 2. 콘크리트 구조물의 열화 및 철근부식정도에 대한 조사

### 2.1 대상구조물의 개요

부산 제 7부두는 1978년에 완공되어 공용년수가 19년인 잔교 형식의 철근콘크리트 구조물로 슬래브 면적이 22,960m<sup>2</sup>(35×656m)이다. 제 7부두의 시설현황은 표 1과 같고, 대상구조물의 위치는 그림 1에 각각 나타내었다.

표 1 부산 제7부두의 시설현황

안벽연장 (m)	전면수심 (m)	접안능력 (DWT)	장치면적 (m <sup>2</sup> )	장치능력 (ton)	주요 취급 화물
659	7.5~10.5	26,000	44,773	107,445	고철, 석탄

### 2.2 조사항목 및 콘크리트 코어실험

해수비말 등 염화물에 의해 염해를 입은 콘크리트의 열화 및 철근의 부식에 대해 조사할 목적으로, 잔교의 상판 슬래브를 대상으로 다음과 같이 조사하였다.

#### 2.2.1 외관 조사

대상 구조물의 전체적인 열화상황을 파악하기 위해 실시한 외관 조사는 소형 보트위에서 육안으로 확인되는 콘크리트 덮개의 탈락 및 녹 발생 흔적, 철근노출, 균열상황 등을 중심으로 조사하였다. 외관 조사결과에 근거하여 가장 열화가 심한 부위를 선정하고, 슈미트해머를 이용

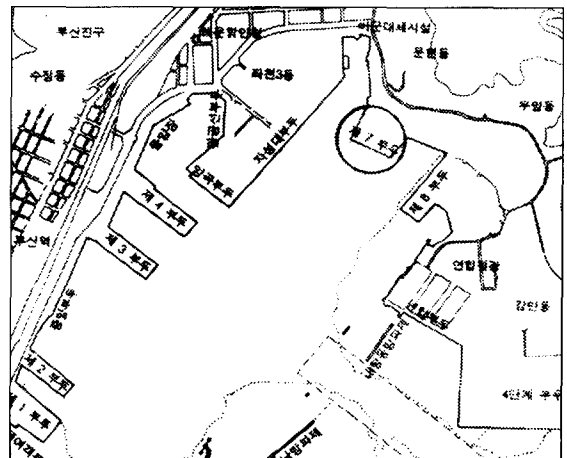


그림 1 대상 구조물의 위치

하여 콘크리트의 반발경도를 구하여 압축강도로 환산하였으며, 철근탐지기를 이용하여 콘크리트의 덮개 두께를 측정하였다. 또한 들뜸부위의 콘크리트와 코어를 채취하여 아래의 방법으로 중성화 깊이와 가용성 염분량을 분석하였다.

### 2.2.2 중성화 및 가용성 염분량 분석

채취한 코어시편을 대상으로 중성화 정도와 압축강도 및 염화물량을 측정하였다. 중성화는 1% 페놀프탈레인 용액을 사용하여 표면에서부터 변색되지 아니한 부분까지의 깊이를 중성화 깊이로 하였다. 콘크리트 중의 염화물양은 전위차 적정법에 의한 NaCl의 수용액농도로 구하였다.

### 2.2.3 철근의 부식정도의 측정

ASTM C 876에서 규정한 포화 황산동전극(CSE)과 입력저항이 큰 전압계(MC MILLER사의 LC-4)를 사용하여 2경간에 대해 60×90cm 크기의 격자를 구성하고, 콘크리트 중의 철근에 대한 자연전위를 측정, 등전위선도를 작성하였다.

## 3. 조사결과 및 분석

### 3.1 외관조사에 대한 평가

슬래브 상부면의 경우 갓돌파손, 콘크리트 박리와 누수, 철근노출 및 부식이 심각한데 이는 대부분 선박접안시 부주의와 상부로부터의 석탄 오염물 등에 의한 것으로 보인다. 구조물의 슬래브는 강판 파일로 지지되어 있는데 파일주변 슬래브의 철근노출 및 균열이 상당량 관찰되었으며, 전반적으로 슬래브 하부면 콘크리트의 탈락 및 들뜸 현상도 심한 상태였다. 이는 주로 콘크리트의 덮개가 충분히 확보되지 않아 철근이 외부에 노출된 경우와 해수비말에 의한 염화물의 축적으로 철근이 부식되고 부식의 진행에 따른 팽창압에 의해 콘크리트 덮개 부분이 떨어져 나간 것으로 추정된다.

### 3.2 콘크리트의 열화

슈미트해머에 의한 슬래브의 비파괴강도와 코어에 의한 압축강도는 모두 양호한 것으로 판단되었다. 그러나, 콘크리트 덮개가 2~5cm로 측정되었고 중성화깊이가 3.5~4cm인 것으로 나타나 부분적으로는 철근까지 중성화가 진행된 것으로 나타났으며, 염분량 분석결과 콘크리트 표준시방서의 염화물 허용 한도인 0.1%(NaCl로 환산)를 훨씬 초과한 것으로 추정되어 중성화와 염해의 상승작용으로 인해 철근이 부식되었다고 생각되며, 따라서 철근부식에 대한 방지대책이 필요하였다. 채취된 콘크리트의 시험편의 실험결과는 표 2와 같다.

표 2 슬래브에서 채취한 콘크리트 시험편의 실험 결과

압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )		중성화 깊이 (cm)	콘크리트 덮개 (cm)	염분량 (%)
반발경도법	코 아			
237	374	3.5~4.0	2~5	0.787

### 3.3 콘크리트 중의 철근부식

잔교의 슬래브 하부면 중에서 일부구간에 대해 콘크리트 중의 철근의 자연전위를 측정하여 등전위

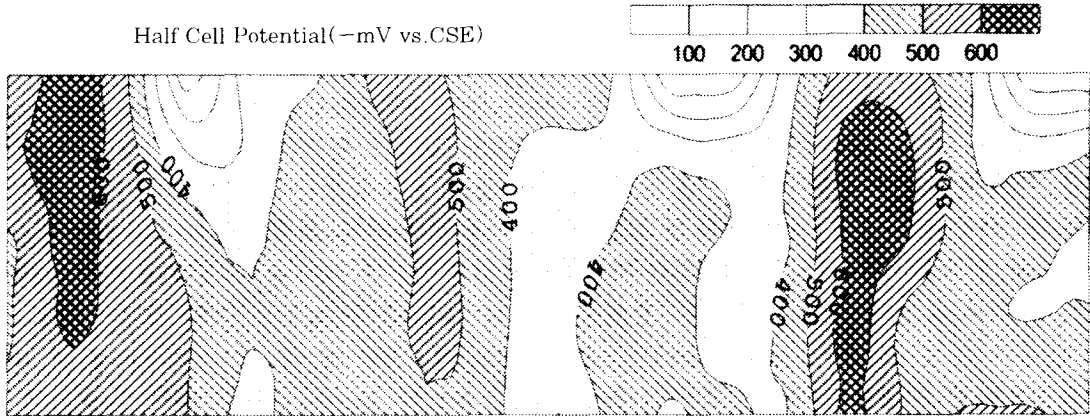


그림 2 콘크리트 중의 철근의 자연전위

선도로 나타낸 것이 그림 2이다. 이 그림에서 철근의 자연전위는 대부분이  $-400\text{mV}(\text{vs.CSE})$ 이하를 나타내고 있으며, 전위의 구배가 심한 곳이 외관조사 결과 철근의 노출 및 콘크리트의 들뜸현상과 탈락 등이 발생한 지역과 일치함을 알 수 있었다.

#### 4. 전기방식법의 적용 및 방식효과의 검토

· 외관조사 및 실내실험 분석결과 이미 콘크리트의 중의 염분량이 기준치 이상으로 존재하고 콘크리트의 덮개부족과 철근부식으로 이미 여러 곳에서 철근노출 및 콘크리트 탈락이 확인된 상태이며, 이후 철근의 부식이 우려할 만한 상황으로의 진행될 것으로 판단되어 보수대책을 검토하였다.

열화된 콘크리트 구조물의 보수대책으로 단면수복이나, 표면피복의 공법 등이 있을 수 있으나, 이들 공법은 이미 다량의 염화물이 내부 깊이 침투해 있으므로 철근의 부식을 근본적으로 막을 수 없는 것으로 판단되었다. 따라서 콘크리트내에 축적된 염화물을 제거하고 철근의 부식을 정지시키기 위해 티타늄메쉬를 양극재로 하는 외부전원법을 이용한 전기방식을 적용하였다.

##### 4.1 외부전원법에 의한 전기방식의 적용예

부산 제7부두의 슬래브 하면 중 가장 열화가 심한 부위  $3,000\text{m}^2$ 를 8개의 구역(각 구역당  $375\text{m}^2$ )으로 분할하여 전기방식을 실시하였으며, 메쉬 전극을 이용한 전기방식의 시공순서는 그림 4와 같다. 먼저 염화물에 의해 열화되어 들뜸이나 철근이 노출된 부분의 콘크리트를 치기전에 제거하였다. 또한 방식대상 철근은 상호 전기적으로 접속이 완벽하게 이루어 져야 하기 때문에 인접지역의 철근이 전기적인 연결이 이루어졌는지에 대한 통전 여부를 확인 한 후, 통전이 불량한 곳은 전기적인 접속을 실시하였다. 외부전원에 의한 방식효과를 확인하기 위해 매입형 참조전극을 1, 3 구역에는 3개, 나머지 구역에는 2개씩 설치한 후 덮개가 2.5cm 정도로 1

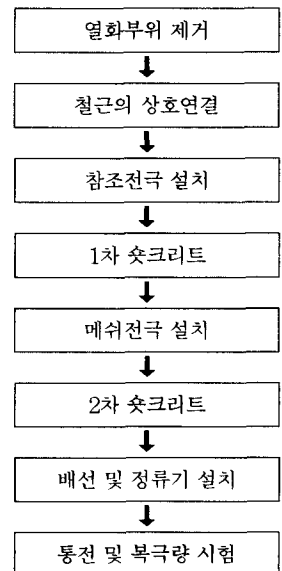


그림 4 전기방식의 시공순서

차 숏크리트를 타설하였다. 방식전류를 끌고루 공급하기 위해 티타늄메쉬를 고정한 후 다시 2차 숏크리트를 실시하고, 배선작업을 마무리 한후 정류기와 연결하여 통전시험을 행하였다.

#### 4.2 통전시험에 의한 방식효과의 검토

대기중에 있는 콘크리트 중의 철근방식에 대한기준으로 미국 National Association of Corrosion Engineering(이하 NACE로 약함)은 복극량 기준을 추천하고 있으며, 이는 전원차단 직후부터 4시간 후의 복극량이 100~150mV의 값이면 만족할 만한 방식효과를 얻을 수 있다고 한다. 따라서 본 연구에서는 이를 확인하기 위해 티타늄 메쉬전극을 이용한 전기방식을 적용한 콘크리트 중의 철근에 대한 전위 변화를 측정하였다. 철근의 전위는 매입된 참조전극(Ag/AgCl)을 이용하여 측정하였다. 방식을 위한 전류를 공급하기 전의 전위, 통전개시 24시간 후의 전위, 통전개시 24시간 후의 전위, 2개월 후의 전위 및 방식효과를 확인하기 위한 복극량 시험을 실시하였다. 측정 결과의 일부를 표 3에 나타내었다. 또한 방식을 위한 전류밀도는 방식대상 철근의 표면적 계산이 불가능하므로 콘크리트 단위면적당 전류밀도로 환산하여 통전초기와 2개월 후의 값으로 나타내었다.

표 3 전기방식 실시에 따른 전위 및 복극량

구역	위치	철근의 전위(mV vs. Ag/AgCl)							복극량	전류밀도 (mA/m <sup>2</sup> )		전압(V)		
		통전전	통전 (24시간)	통전 (2개월)	Ins-off	1시간	2시간	3시간		4시간	초기	2개월	초기	2개월
1	A	-308	-494	-550	-496	-415	-399	-388	-380	116	15.7	16.3	5.5	5.90
	B	-276	-543	-582	-560	-371	-358	-348	-342	218				
	C	-494	-609	-610	-545	-501	-481	-468	-459	86				
4	A	-213	-483	-603	-421	-330	-310	-297	-289	132	16.0	16.5	4.0	4.56
	B	-242	-476	-423	-388	-279	-264	-255	-249	139				
6	A	-271	-390	-515	-387	-306	-290	-280	-273	114	16.5	17.1	3.2	3.49
	B	-249	-429	-477	-469	-315	-302	-294	-289	180				
8	A	-230	-452	-497	-387	-315	-300	-291	-284	103	16.5	17.1	3.9	4.16
	B	-291	-303	-280	-280	-274	-272	-270	-269	11				

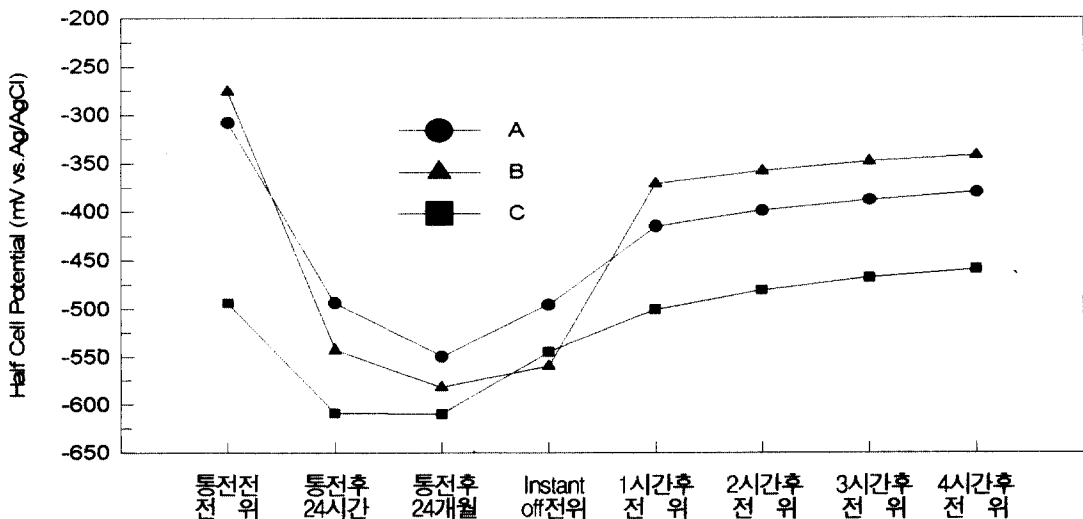


그림 5 통전 전후의 철근의 전위변화 및 복극량(1구역)

이 표에서 알 수 있듯이, 대부분의 구간에서 86~218mV의 복극량이 확인되어 NACE의 방식기준을 만족하고 있음을 확인 할 수 있었으며, 이때 방식에 필요한 전류밀도는 콘크리트 단위면적당 15.5~16.5mA/m<sup>2</sup>이었다. 또한 8구역의 B와 같이 복극량이 11mV로 충분한 복극량이 확보되지 않은 몇 개의 지역이 있어 지속적인 관찰이 필요하지만, 동일 지역내의 다른 철근들이 충분한 복극량이 확인된 것으로 보아 이들 지역내의 철근상호간에 전기적인 접촉이 제대로 확보되지 않은 것으로 추정된다. 따라서 콘크리트 중의 전기방식을 적용할 때는 방식대상 철근의 전기적인 상호 접촉이 중요함을 알 수 있다.

전기방식 대상 면적 중 1구역에 매입된 참조전극을 통해 통전 전의 전위와 통전에 따른 전위변화 그리고 복극량시험의 결과를 그림 5에 나타내었다. 이 그림에서 알 수 있듯이 방식전의 철근의 전위가 높을수록 복극량이 크며, 전원차단 직후의 전위(instant-off 전위)와 경과 시간에 따른 복극량의 경향을 볼 때 전원차단 후 4시간에서 완전한 복극이 이루어지지 않고 지속적으로 복극량이 증가할 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

- 1) 철근콘크리트 잔교의 중성화 깊이가 2.5~4.0cm 정도이고, 염분량이 0.787%로써 상당량의 염분이 축적되어 있으며 콘크리트 중의 철근의 자연전위도 대부분이 -450~-600mV(vs.CSE)의 값을 보여 철근부식이 심각한 상태이므로 철근의 부식을 억제할 보수대책으로 외부전원에 의한 전기방식법을 채택하였다.
- 2) 양극재료로 티타늄 메쉬를 사용하여 전기방식을 실시한 결과 콘크리트의 단위면적당 15.5~16.5mA/m<sup>2</sup>의 방식전류를 공급하여 86~218mV의 복극량을 얻으므로써 NACE의 방식기준을 만족하는 것으로 나타나 외부전원에 의한 전기방식의 효과가 있음을 알 수 있다.
- 3) 외부전원에 의한 전기방식법의 적용성을 검토한 결과 큰 문제는 없었으나, 방식대상 철근의 전기적인 접촉만 확실히 확보된다면 염해를 입은 콘크리트 구조물 중의 철근의 부식억제를 위한 유효한 방식대책이라 생각된다.

## 참 고 문 헌

1. V. K. Raina, 'Concrete Bridges', 1996
2. 日本建設省土木研究所, 'コンクリート構造物の電氣防食に關する共同研究報告書', 1988
3. 日本コンクリート工學協會, '海洋コンクリート構造物の防食指針(案)', 1983